

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Adolf GÜNTHER et al.

Serial No.: 10/722,673

Filed: November 25, 2003

For: Process and Device for the Automatic
Rectification of Single-Channel or Multi-
Channel Images

Mail Stop
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

LETTER TRANSMITTING PRIORITY DOCUMENT

SIR:

In order to complete the claim to priority in the above-identified application under 35 U.S.C. §119, enclosed herewith is a certified copy of each foreign application on which the claim of priority is based: Application No. 102 55 557.5, filed on November 25, 2002, in Germany.

Respectfully submitted,
COHEN, PONTANI, LIEBERMAN & PAVANE

By



Thomas C. Pontani
Reg. No. 29,763
551 Fifth Avenue, Suite 1210
New York, New York 10176
(212) 687-2770

Dated: May 25, 2004

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 55 557.5

Anmeldetag: 25. November 2002

Anmelder/Inhaber: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt eV,
Köln/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur automatischen
Entzerrung von Grauwertbildern

IPC: H 04 N 1/40

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 04. Dezember 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Letang

Verfahren und Vorrichtung zur automatischen Entzerrung von Grauwertbildern

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur automatischen
5 Entzerrung von Grauwertbildern, insbesondere von Satellitenbildern für
Landvermessungen.

Bekannte Verfahren zur Geländeaufnahme oder Landesvermessung aus von der Erde
oder von einem Satelliten aufgenommenen Bildern sind sogenannte
10 photogrammetrische Verfahren, wobei die aufgenommenen Bilder für eine Übertragung
in eine zu erstellende Karte entzerrt werden. Für die Entzerrung wird der
Abbildungsvorgang als kollineare Gleichung modelliert. Es existiert bereits eine Reihe
grundlegender Verfahren zur Georeferenzierung von Fernerkundungsdaten, die
entweder auf dem Prinzip der Positionsbestimmung mit Hilfe eines Abbildungsmodells
15 oder auf dem Passpunktprinzip mit Hilfe eines Referenzbildes beruhen. Auch eine
Verkopplung beider Methoden ist möglich. Für die Entzerrung wird der
Abbildungsvorgang als kollineare Gleichung oder mittels einfacherer Modelle
vorgenommen. Sind alle Parameter des Abbildungsvorgangs bekannt, so sind sehr
präzise Bilder erzeugbar. In der Praxis sind jedoch nicht alle Parameter, die bei der
20 Bildentstehung eine Rolle spielen, wie z.B. Ort und Lage des Satelliten, ausreichend
genau bekannt. Ursächlich hierfür ist eine Beschränkung der Meßgenauigkeit sowie die
Tatsache, dass nicht alle Parameter zeitlich stabil sind. Die zeitliche Instabilität ergibt
sich beispielsweise aus Schwankungen der Satellitenbahn. Weiter erfolgt eine
Vermessung der Satellitenbahn diskret, wobei die Interpolation zwischen diesen
25 Zeitpunkten zusätzliche Fehler ergibt.

Daneben ist es bekannt, bei unvollständigen oder ungenauen Abbildungsparametern
eine Entzerrung mit Hilfe von Passpunkten durchzuführen. Das Verfahren wird
insbesondere dann eingesetzt, wenn das Satellitenbild nicht auf eine definierte
30 Geometrie, beispielsweise eine Karte, sondern auf ein Referenzbild mit unbekannter
Verzerrung abgebildet wird. Passpunkte sind kontrastreiche Bildstrukturen, welche
zeitlich stabil sind und eine Ortsbestimmung mittels Korrelation ermöglichen. Die
Interpolation zwischen den Passpunkten wird in der Regel mit zweidimensionalen
Polynomfunktionen vorgenommen. Eine Fehlerquelle bei der Passpunktentzerrung ist
35 die Unähnlichkeit der Passpunktstrukturen in den verschiedenen Bildern, die
hervorgerufen werden durch unterschiedliche Aufnahmegeometrien, einen
unterschiedlichen Zustand der Objekte, welche die Passpunktstruktur bilden oder
durch Mittelung unterschiedlicher Objekte oder Objektteile. Eine weitere Fehlerquelle

ist die für die Interpolation eingesetzte Polynomfunktion, durch welche in der Regel der Abbildungsvorgang nicht ausreichend genau modellierbar ist. Dies gilt insbesondere bei großen Flächen. Je weiter ein Punkt von einem Passpunkt entfernt liegt, desto größer sind die Auswirkungen aufgrund von Ungenauigkeiten in der Polynomfunktion.

5 Dieser Effekt zeigt sich vor allem bei Polynomen höheren Grades.

Außerdem ist es bekannt, die beiden Methoden, die parametrische Entzerrung und die Entzerrung mittels Polynomfunktionen zu verknüpfen.

10 Ein Nachteil der bekannten Verfahren liegt in einer schlechten automatisierten Umsetzbarkeit, insbesondere bei einem geringen Kenntnisstand des Abbildungsvorgangs. Eine Anpassung aller Abbildungsparameter an eine aktuelle Situation ist hierbei meistens zu aufwendig, so dass eine reine Polynomentzerrung eingesetzt wird. Die notwendigen Passpunkte werden dabei einer Datenbank
 15 entnommen. Die bisher bekannten Verfahren weisen Restfehler in der Positionsbestimmung der Passpunkte des zu bearbeitenden Datensatzes auf. Dieser Restfehler lässt sich nicht oder nur sehr aufwendig analytisch beschreiben, so dass auch eine entsprechende Anpassung durch Korrektur des Abbildungsmodells nicht möglich ist.

20 Der Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur automatischen Entzerrung von Grauwertbildern zu schaffen, durch welche ohne genaue Kenntnis des Abbildungsmodells der verbleibende Restfehler verringert wird.

25

Die Lösung des Problems ergibt sich durch ein Verfahren mit den Merkmalen der Ansprüche 1 bis 8. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

30 Die automatische Entzerrung von Grauwertbildern umfasst eine Klassifikation, in deren Anschluss eine geometrische Strukturanalyse des Grauwertbildes durchgeführt wird. Mit dem Klassifikationsalgorithmus werden die spektralen Eigenschaften der abgebildeten realen Objekte analysiert und im Ergebnis sogenannte Bildobjekte erzeugt, deren Elemente (Pixel) jeweils einer Klasse angehören. Insbesondere werden
 35 damit Wolken und Gebiete mit stabilem spektralen Verhalten, beispielsweise Wasser oder Nadelwälder, erkannt. Mittels einer Maske lassen sich die Bildobjekte, welche als Wolken erkannt wurden, kennzeichnen. Wolkengebiete werden für die weitere

Bearbeitung ausgeschlossen oder bei Bedarf einer gesonderten Bearbeitung unterworfen.

In einem nachfolgendem Verfahrensschritt erfolgt eine Extraktion von mindestens drei geeigneten charakteristischen Objekten, die nachfolgend identifiziert werden. Hierzu werden im ersten Schritt die Randverläufe der geeigneten klassifizierten Flächen ermittelt, wobei zusätzlich eine numerische Charakterisierung dieser Objekte durch ein geeignetes Strukturmaß erfolgt. Dabei lassen sich die Objekte, welche an Wolken angrenzen, gesondert kennzeichnen. Diese Objekte werden dann mit entsprechenden Objekten des Referenzbildes korreliert, so dass als Ergebnis die Objekte vorab extrahiert und identifiziert sind.

Im nächsten Schritt werden für die vorab extrahierten Objekte die Positionen der jeweiligen abgeleiteten charakteristischen Objektpunkte, vorzugsweise Objektmittelpunkte, berechnet. Gegebenenfalls wird bei teilweise durch Wolken abgedeckten Objekten nach charakteristischen Randverläufen gesucht.

Im letzten Teilschritt zur Objektidentifikation wird aus den bisher berechneten abgeleiteten charakteristischen Objektpunkten, vorzugsweise Objektmittelpunkten, ein Vektornetz in beiden Bildern konstruiert, mit dessen Hilfe eine räumliche Objektzuordnung zwischen beiden Bildern möglich wird.

Im nächsten Schritt erfolgt eine Anpassung einer Abbildungsfunktion, wobei Parameter der Abbildungsfunktion durch eine Projektion des Referenzbildes auf das zu entzerrende Grauwertbild angepasst werden. Die Anfangsparameter der Abbildungsfunktion werden dabei aus den geometrischen Beziehungen der abgeleiteten charakteristischen Objektpunkte, vorzugsweise Objektmittelpunkte, berechnet. Die Abbildungsfunktion wird durch eine Änderung der Parameter derart vorgenommen, dass ein Fehlersummenminimum in den Positionsabweichungen zwischen projizierten Bildpunkten der Objekte und entsprechenden Objektpunkten im Referenzbild erreicht wird. Dabei ist es vorteilhaft, wenn die Objekte markante und einmalige Formen aufweisen, so dass grobe Fehler ausgeschlossen werden. Das Referenzbild kann dabei entweder in einer bekannten Kartenprojektion abgebildet sein oder eine unbekannte Abbildungsgrundlage aufweisen. Ist die Abbildungsgrundlage bekannt, so ist die Abbildungsfunktion aus einem Abbildungsmodell gegeben. Bei einer unbekannten Abbildungsgrundlage des Referenzbildes ist die Abbildungsfunktion eine affine Transformation. Durch die Anpassung der Parameter unter Berechnung eines Fehlersummenminimums ist eine Anpassung der Abbildungsfunktion ohne genaue

Kenntnis des Abbildungsmodells bzw. im Falle der fehlenden Abbildungsgrundlage ohne Abbildungsmodell möglich.

- 5 In einer bevorzugten Ausführungsform werden in einem weiteren Verarbeitungsschritt die für eine Anpassung der Abbildungsfunktion verwendeten Punkte des Objekts, sogenannte Passpunkte, ausgewählt und/oder gewichtet. Hierfür werden zunächst um einen möglichen Passpunkt des zu entzerrenden Grauwertbildes und/oder des Referenzbildes Flächen gebildet, sogenannte Passpunktstrukturen. Die Flächen sind in der Regel quadratisch mit $N \times N$ Pixel, die Passpunktstrukturen werden in das jeweils
- 10 andere Bild mittels der Abbildungsfunktion projiziert, wobei eine Qualität der Passpunktstruktur mindestens durch Veränderlichkeit, Richtungskontrast und/oder Ähnlichkeit beschrieben ist. Die Veränderlichkeit wird aus der bereits bestimmten Klassenzugehörigkeit abgeleitet. Klassen mit geringer Veränderlichkeit, beispielsweise Wasser, erzeugen eine hohe Qualität. Objekte mit starker Veränderlichkeit, beispielsweise Vegetationen, haben hingegen eine geringe Qualität. Die Werte für eine derartige Qualitätsbewertung lassen sich vorab bestimmen und in Tabellen ablegen. Ein weiteres Kriterium für die Qualität eines Passpunktes ist der Richtungskontrast. Für eine exakte Bestimmung von Positionen der Passpunkte ist ein großer Kontrast innerhalb der Passpunktstruktur erforderlich. Strukturen mit großen Kontrasten in
- 20 horizontaler (X-) Richtung und vertikaler (Y-) Richtung der Bildebene haben somit eine hohe Qualität. Der Kontrast wird aus maximalen Grauwertdifferenzen in den Zeilen oder Spalten errechnet. Dabei kann entweder der Kontrast aus einem Bild oder bevorzugt aus beiden Bildern in das Qualitätsmaß eingehen. Zudem ist die Ähnlichkeit Kriterium für das Qualitätsmaß. Die Ähnlichkeit wird aus einem Vergleich der Form des Grauwertverlaufes in X- und Y-Richtung innerhalb der Passpunktstrukturen des
- 25 Grauwertbildes und des Referenzbildes abgeleitet. Während Veränderlichkeit und Richtungskontrast im zu entzerrenden Bild und/oder im Referenzbild festgelegt sind, lässt sich die Ähnlichkeit durch eine Anpassung verbessern. Die einzelnen Qualitätsmaße werden zu einer gemeinsamen Qualitätsbewertung verknüpft. Für eine
- 30 derartige Verknüpfung ist eine Vielzahl an Methoden denkbar, wobei die einzelnen Qualitätsmaße je nach Aufgabestellung unterschiedlich gewichtet werden können. Aufgrund der gemeinsamen Qualitätsbewertung wird jedem Passpunkt eine Wichtung zugeordnet mit welcher er in eine Anpassung der Parameter für eine Bestimmung der Abbildungsfunktion eingeht. Passpunkte, welche ein sehr niedriges Qualitätsmaß
- 35 aufweisen, sind für eine weitere Bearbeitung zu verwerfen.

In einer weiteren Ausführungsform erfolgt eine genauere Bestimmung der Position der ermittelten Passpunkte im zu entzerrenden Grauwertbild durch einen Vergleich der

Passpunktstrukturen. Dabei ist sowohl eine Projektion von Teilen der Passpunktstruktur des Grauwertbildes in das Referenzbild, als auch umgekehrt denkbar. Bevorzugt werden für beide Bildausschnitte Bildschärfen berechnet und der unschärfere Bildausschnitt in den schärferen projiziert. Zunächst erfolgt eine

5 Anpassung der Grauwertverteilung der projizierten Bildstruktur an die zugehörige Passpunktstruktur im Grauwertbild und/oder im Referenzbild. Dadurch lassen sich Unterschiede ausgleichen, welche beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Belichtungsverhältnisse bei der Aufnahme des jeweiligen Bildes vorliegen. Anschließend werden die Grauwerte der einzelnen Pixel in der Passpunktstruktur oder

10 der Bildstruktur bestimmt und die Differenz zwischen benachbarten Pixel gebildet. Diese Differenz wird mit der Differenz der korrespondierenden Pixel in der anderen Struktur verglichen und daraus ein Fehler abgeleitet. Anschließend wird die Passpunktstruktur im Grauwertbild in X- und/oder Y-Richtung versetzt und erneut ein Fehler ermittelt. Durch schrittweisen Versatz der Passpunktstruktur in X- und Y-

15 Richtung wird eine Fehlermatrix erzeugt. Die Schrittgröße ist dabei geringer als die Ausdehnung der Passpunktstruktur. Als bestangepasste Position wird die Position der Passpunktstruktur identifiziert, welche den geringsten Fehler aufweist. Positionen, welche auf diese Art ermittelt wurden, weisen eine hohe Positionsgenauigkeit auf. Dadurch kann eine Anpassung der Abbildungsparameter verbessert werden.

20 In einer bevorzugten Ausführungsform wird eine zweite Anpassung der Parameter der Abbildungsfunktion durchgeführt, wobei die Abbildungsfunktion durch eine Änderung der Parameter derart veränderbar ist, dass ein Fehlersummenminimum in den Positionsdifferenzen zwischen Passpunkten und zugehörigen projizierten Bildpunkten

25 unter Berücksichtigung der Wichtung der Passpunkte minimiert wird. Durch eine zweistufige Anpassung der Abbildungsparameter erfolgt zunächst eine grobe Entzerrung des Grauwertbildes, welche in einem weiteren Schritt verfeinert wird.

In einer weiteren Ausführungsform wird eine Ausgleichsrechnung durchgeführt, wobei

30 der Restfehler in der Positionsbestimmung weiter verringert wird. Hierbei wird für jeden Passpunkt mindestens ein vertikaler und/oder ein horizontaler Korrekturwert bestimmt, welcher die Abweichung des Wertes der Abbildungsfunktion vom Wert der Ausgleichsfunktion am Ort des zugehörigen Bildpunktes bei einer Projektion mit der bestangepassten Abbildungsfunktion wiedergibt. Die derart ermittelten Korrekturwerte

35 lassen sich in einer Tabelle speichern und für eine Weiterverarbeitung nutzen.

In einer weiteren Ausführungsform werden die Eckkoordinaten projizierter Bildelemente ermittelt. Eine Bildposition der Eckkoordinaten ergibt sich aus einer Projektion mit der

ermittelten Abbildungsfunktion und der Korrekturwerte. Durch Interpolation der Korrekturwerte der Passpunkte lässt sich Korrekturfunktion aufstellen. Somit können die Korrekturwerte an den Eckkoordinaten ermittelt werden.

- 5 In einer weiteren Ausführungsform wird ein Resampling derart durchgeführt, dass die Eckkoordinaten ein Vieleck, bevorzugt ein Viereck, aufspannen und die Grauwerte aller in dem Vieleck liegenden Bildelemente entsprechend ihrer Größe gewichtet gemittelt werden.
- 10 Die einzelnen Module der Vorrichtung können entweder auf einem gemeinsamen Rechenmittel oder auf getrennten Rechenmitteln integriert werden. Die Verfahrensschritte können teilweise parallel bearbeitet werden.

15 Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Die einzige Figur zeigt den Ablauf bei einer automatischen Entzerrung eines Satellitenbildes.

Das Satellitenbild ist durch ein beliebiges Aufnahmegerät erzeugbar, welches Grauwertbilder produziert. Das Verfahren ist modular durch die Module 1 bis 10
20 aufgebaut. Alle für eine Entzerrung notwendigen Informationen sind aus Daten der Grauwertbilder extrahierbar. Liegen zusätzliche Informationen vor, so können diese im Verfahren verwendet werden.

In den Modulen 1 bis 4 wird eine Zuordnung von speziellen Punkten, sogenannten
25 virtuellen Passpunkten, des Grauwertbildes zu einem Referenzbild durchgeführt. Die Entzerrung findet in den Modulen 5 bis 10 statt. Bei dem Referenzbild handelt es sich ebenfalls um ein Grauwertbild.

Im Modul 1 werden zunächst Bildobjekte des Satellitenbildes aufgrund ihrer spektralen
30 Eigenschaften klassifiziert und Flächen gleicher Klassenzugehörigkeit gebildet. Hierfür wird ein geeigneter Klassifizierungsalgorithmus verwendet, durch welchen beispielsweise Gebiete mit stabilem spektralen Verhalten, wie Wasserflächen, identifizierbar sind. In Modul 2 erfolgt eine Identifikation von Objekten, wobei Objektränder Randverläufe der gebildeten Flächen sind und beispielsweise unter
35 Verwendung eines Strukturanalysemodells eine numerische Charakterisierung eines Objekts aufgrund seines Strukturmaßes erfolgt. Die Objektrandverläufe ermöglichen eine Formbeschreibung der einzelnen Objekte. Die verschiedenen Objektformen sind eine Voraussetzung, um gleiche Objekte in Referenzbild und Satellitenbild zu ermitteln.

In Modul 3 werden für die aufgefundenen Objekte Objektmittelpunkte berechnet, welche die Position der Objekte wiedergeben. Die Objektmittelpunkte sowie weitere markante Punkte der Objektgeometrie sind Passpunkte für eine Anpassung einer Abbildungsfunktion. Anschließend werden in dem Modul 4 die jeweils extrahierten

5 Objekte jeweils einem Objekt des Referenzbildes zugeordnet und identifiziert, indem ein Vektornetz erstellt wird und über die geometrischen Ähnlichkeiten der Vektornetze eine räumliche Objektzuordnung erfolgt.

In Modul 5 wird zunächst eine Anpassung der Abbildungsfunktion an die in den

10 Modulen 1 bis 4 ermittelten Passpunkte durchgeführt. Der Anfangsparametersatz wird dabei aus den geometrischen Beziehungen der Objekte zueinander berechnet. Die Anpassung erfolgt durch eine Änderung der Parameter der Abbildungsfunktion. In Modul 6 werden weitere Passpunkte für eine Anpassung der Abbildungsfunktion generiert. Prinzipiell ist jeder Punkt, welcher sich in beiden Bildern eindeutig

15 identifizieren läßt, als Passpunkt geeignet. Die potentiellen Passpunkte sind jedoch hinsichtlich ihrer Eignung unterschiedlich zu bewerten. Hierfür werden in Modul 6 Qualitätskennzahlen von Passpunktstrukturen ermittelt. Passpunktstrukturen sind Flächen mit $N \times N$ Pixel, welche um einen potentiellen Passpunkt liegen. Die Qualitätskennzahlen ergeben sich aus Veränderlichkeit, Richtungskontrast und

20 Ähnlichkeit. Die Veränderlichkeit einer Passpunktstruktur wird aus ihrer Klassenzugehörigkeit entsprechend Modul 1 abgeleitet. Eine hohe Veränderlichkeit wirkt sich dabei negativ auf die Qualitätsbewertung des Passpunktes aus. Um in einem nachfolgenden Verfahrensschritt die Position des Passpunktes mit einer hohen Genauigkeit zu ermitteln, ist ein großer Kontrast innerhalb der Passpunktstruktur von

25 Vorteil. Einer Struktur mit großen Richtungskontrasten wird daher ein hohes Qualitätsmaß zugeordnet. Die Ähnlichkeit zwischen zwei Strukturen ist für einen Vergleich des projizierten Bildes mit dem Referenzbild sehr wichtig, da bei ungenügender Ähnlichkeit eine Positioniergenauigkeit stark absinkt. Das Qualitätsmaß ist daher proportional zur Ähnlichkeit. Jedem Passpunkt wird entsprechend seiner

30 Qualitätskennzahl eine Wichtung zugeordnet. Passpunktstrukturen und dazugehörige Qualitätskennzahlen werden in einer Passpunkttafel abgelegt. Mit der größeren Passpunktzahl und deren Wichtung wird in Modul 7 erneut eine Anpassung der Parameter der Abbildungsfunktion durchgeführt, wodurch die Genauigkeit der Abbildungsfunktion verbessert wird. Positionsrestfehler, welche durch die verbesserte

35 Abbildungsfunktion nicht vollständig vermieden werden, wird mit einer Ausgleichsrechnung in Modul 8 begegnet. Dabei wird angenommen, dass die Positionsrestfehler über kurze Distanzen keine starke Änderung aufweisen. Die Ausgleichsrechnung wird daher unter Einbeziehung der näheren Umgebung

durchgeführt. Als Ergebnis der Ausgleichsrechnung wird in Modul 8 eine Fehlerkorrekturtabelle erstellt. Durch Interpolation der Fehlerkorrekturtabelle ist eine Fehlerkorrekturfunktion ermittelbar. In Modul 9 werden Eckkoordinaten der projizierten Bildelemente berechnet. Die Berechnung erfolgt unter Verwendung der ermittelten

5 Abbildungsfunktion und der Fehlerkorrekturfunktion. Zum Schluss findet in Modul 10 ein Resampling mit den vorher berechneten projizierten Positionen statt.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur automatischen Entzerrung von Grauwertbildern umfassend
mindestens

- eine Klassifikation, in der die spektralen Eigenschaften des Bildes analysiert werden und in deren Ergebnis Objekte gleicher Klassenzugehörigkeit gebildet werden und einer sich daran anschließenden geometrische Strukturanalyse,
- eine Extraktion von mindestens drei geeigneten charakteristischen Objekten, wobei
 - ein Randverlauf des Objekts aus einem Randverlauf der klassifizierten Fläche ermittelt wird und eine numerische Charakterisierung der Objekte durch ein Strukturmaß erfolgt,
 - eine Korrelationsanalyse durchgeführt wird, wobei die extrahierten Objekte jeweils einem Objekt des Referenzbildes zugeordnet und somit identifiziert werden,
 - eine Ermittlung charakteristischer Objektpunkte der identifizierten Objekte,
- Konstruieren eines Vektornetzes aus den bisher berechneten abgeleiteten Objektpunkten in beiden Bildern, wobei mittels der beiden Vektornetze eine räumliche Objektzuordnung erfolgt,
- eine Anpassung einer Abbildungsfunktion, durch welche Parameter der Abbildungsfunktion zur Projektion des zu entzerrenden Grauwertbildes auf das Referenzbild angepaßt werden, wobei die Anfangsparameter der Abbildungsfunktion aus den charakteristischen Objektpunkten berechnet werden und die Abbildungsfunktion durch eine Änderung der Parameter derart verändert wird, daß ein Fehlersummenminimum in Positionsdifferenzen zwischen projizierten Bildpunkten des Objekts und entsprechenden Objektpunkten erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend eine Generierung von gewichteten Passpunkten, wobei um einen Passpunkt des Grauwertbildes und/oder des Referenzbildes eine Passpunktstruktur umfassend eine begrenzte Anzahl an Pixeln gebildet wird, die Passpunktstruktur durch die Abbildungsfunktion auf das jeweils andere Bild als Bildstruktur projiziert wird, um zu erkennen, ob auch dort eine entsprechende Bildstruktur ausreichender Qualität vorhanden ist, wobei eine Qualität der Passpunktstruktur mindestens durch Veränderlichkeit,

Richtungskontrast und/oder Ähnlichkeit beschrieben ist und aufgrund der Qualität eine Wichtung der Passpunkte ermittelt wird.

- 5

3. Verfahren nach Anspruch 2, umfassend eine Anpassung der Position des Passpunktes im Grauwertbild und/oder im Referenzbild, wobei die Form einer Grauwertverteilung der Passpunktstruktur im Referenzbild und die Form einer Grauwertverteilung der Bildstruktur im Fernerkundungsbild aufeinander abgestimmt werden, im Grauwertbild und/oder im Referenzbild mindestens eine Differenz zwischen Grauwerten zweier benachbarter Pixel der

10

Passpunktstruktur und mindestens eine Differenz zwischen Grauwerten der entsprechenden Pixel der Bildstruktur gebildet wird und aus einem Unterschied der Differenzen ein Fehler abgeleitet wird, das unscharfe Strukturteil in das scharfe Strukturteil abgebildet wird, die Passpunktstruktur im Grauwertbild und/oder im Referenzbild in vertikaler und/oder horizontaler Richtung verschoben wird und für die neue Position der Fehler ermittelt wird.

15
- 20

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, umfassend eine Anpassung der Parameter der Abbildungsfunktion, wobei die Abbildungsfunktion durch eine Änderung der Parameter derart veränderbar ist, daß ein Fehlersummenminimum in den Positionsdifferenzen zwischen Passpunkten und zugehörigen projizierten Bildpunkten unter Berücksichtigung der Wichtung der Passpunkte minimiert wird.
- 25

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, umfassend eine Ausgleichsrechnung, wobei für jeden Passpunkt mindestens ein vertikaler und/oder ein horizontaler Korrekturwert bestimmt wird, welcher die Abweichung des Wertes der Abbildungsfunktion vom Wert der Ausgleichsfunktion am Ort des Passpunktes wiedergibt.

30
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, umfassend eine Projektion von Eckkoordinaten eines Bildelementes auf Bildpositionen, wobei die Bildpositionen der Eckkoordinaten aufgrund der Abbildungsfunktion und der Korrekturfunktion ermittelt werden.

35
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, umfassend ein Resampling, wobei die Eckkoordinaten ein Vieleck, bevorzugt ein Viereck, aufspannen und die Grauwerte entsprechend der Flächenanteile aller in dem Vieleck liegenden Bildelemente in den resultierenden Grauwert eingehen.

8. Vorrichtung zur automatischen Entzerrung von Grauwertbildern umfassend mindestens

- ein Modul (1), durch welches eine Klassifikation durchführbar ist, wobei eine geometrische Strukturanalyse des Grauwertbildes durchführbar ist, spektrale Eigenschaften des Grauwertbildes erkennbar sind und mindestens eine Fläche gleicher Klassenzugehörigkeit bildbar ist,
- ein Modul (2), durch welches mindestens 3 geeignete Objekte extrahierbar sind, wobei der jeweilige Randverlauf der Objekte aus dem Randverlauf der klassifizierten Flächen und eine numerische Charakterisierung der Objekte durch ein Strukturmaß ermittelbar ist,
- ein Modul (3), durch welches für die extrahierten Objekte ein abgeleiteter charakteristischer Objektpunkt, vorzugsweise Objektmittelpunkt, berechenbar ist und/oder beispielsweise bei Wolkenabdeckung ein charakteristischer Randverlauf erkannt werden kann,
- ein Modul (4), durch welches die extrahierten Objekte jeweils einem Objekt des Referenzbildes zugeordnet und identifiziert werden, indem ein Vektornetz erstellt wird und über die geometrischen Ähnlichkeiten der Vektornetze eine räumliche Objektzuordnung erfolgt,
- ein Modul (5) für eine Anpassung einer Abbildungsfunktion, durch welches Parameter der Abbildungsfunktion zur Projektion des Referenzbildes auf das zu entzerrende Grauwertbild anpassbar sind, wobei die Anfangsparameter der Abbildungsfunktion aus den Objektmittelpunkten berechenbar sind und die Abbildungsfunktion durch eine Änderung der Parameter derart veränderbar ist, dass ein Fehlersummenminimum in Positionsabweichungen zwischen projizierten Bildpunkten des Objekts und entsprechenden Objektpunkten erreicht wird.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, umfassend ein Modul (6) für eine Generierung gewichteter Passpunkte, durch welches um einen Passpunkt des Grauwertbildes und/oder des Referenzbildes eine Passpunktstruktur umfassend eine begrenzte Anzahl an Pixel bildbar ist, die Passpunktstruktur durch die Abbildungsfunktion auf das jeweils andere Bild als Bildstruktur abbildbar ist, wobei eine Qualität der Passpunktstruktur mindestens durch Veränderlichkeit, Richtungskontrast und/oder Ähnlichkeit beschreibbar ist und aufgrund der Qualität eine Wichtung der Passpunkte ermittelbar ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, umfassend ein Modul, durch welches eine Position des Passpunktes im Grauwertbild und/oder im Referenzbild anpaßbar ist, wobei die Form einer Grauwertverteilung der Passpunktstruktur und der Bildstruktur aufeinander abstimmbare sind, mindestens eine Differenz zwischen Grauwerten zweier benachbarter Pixel der Passpunktstruktur und mindestens eine Differenz zwischen Grauwerten der entsprechenden Pixel der Bildstruktur bildbar ist und aus einem Unterschied der Differenzen ein Fehler ableitbar ist, wobei das unscharfe Strukturteil in das scharfe Strukturteil abgebildet wird, die Passpunktstruktur im Grauwertbild und/oder im Referenzbild in vertikaler und/oder horizontaler Richtung verschiebbar ist und für die neue Position der Fehler ermittelbar ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, umfassend ein Modul (7), durch welches die Parameter der Abbildungsfunktion anpaßbar sind, wobei die Abbildungsfunktion durch eine Änderung der Parameter derart veränderbar ist, dass ein Fehlersummenminimum in den Positionsabweichungen zwischen Passpunkten und zugehörigen projizierten Bildpunkten unter Berücksichtigung der Wichtung der Passpunkte minimiert wird.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, umfassend ein Modul (8), durch welches eine Ausgleichsrechnung durchführbar ist, wobei für jeden Passpunkt mindestens ein vertikaler und/oder ein horizontaler Korrekturwert bestimmbar ist, welcher die Abweichung des Wertes der Abbildungsfunktion vom Wert der Ausgleichsfunktion am Ort des Passpunktes wiedergibt.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, umfassend ein Modul (9), durch welches Eckkoordinaten eines Bildelementes auf Bildpositionen abbildbar sind, wobei die Bildpositionen der Eckkoordinaten aufgrund der Abbildungsfunktion und der Korrekturfunktion ermittelbar sind.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, umfassend ein Modul (10), durch welches ein Resampling durchführbar ist, wobei die Eckkoordinaten ein Vieleck, bevorzugt ein Viereck, aufspannen und die Grauwerte entsprechend der Flächenanteile aller in dem Vieleck liegenden Bildelemente den resultierenden Grauwert bestimmen.

ZUSAMMENFASSUNG

Verfahren und Vorrichtung zur automatischen Entzerrung von Grauwertbildern

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur automatischen Entzerrung von Grauwertbildern umfassend eine Klassifikation, wobei mindestens eine Fläche mit Pixel gleicher Klassenzugehörigkeit gebildet wird, eine Identifikation mindestens eines
10 Objekts, wobei ein Randverlauf des Objekts aus einem Randverlauf der klassifizierten Fläche ermittelt wird, eine Korrelationsanalyse, wobei das identifizierte Objekt einem Objekt eines Referenzbildes zugeordnet wird, eine Berechnung eines Objektmittelpunkts und eine Anpassung, durch welche Parameter der
15 Abbildungsfunktion zur Projektion des Grauwertbildes auf das Referenzbild angepasst werden, wobei die Abbildungsfunktion derart verändert wird, dass ein Fehlersummenminimum in Positionsabweichungen zwischen projizierten Bildpunkten des Objekts und entsprechenden Objektpunkten erreicht wird.

20

(Fig. 1)

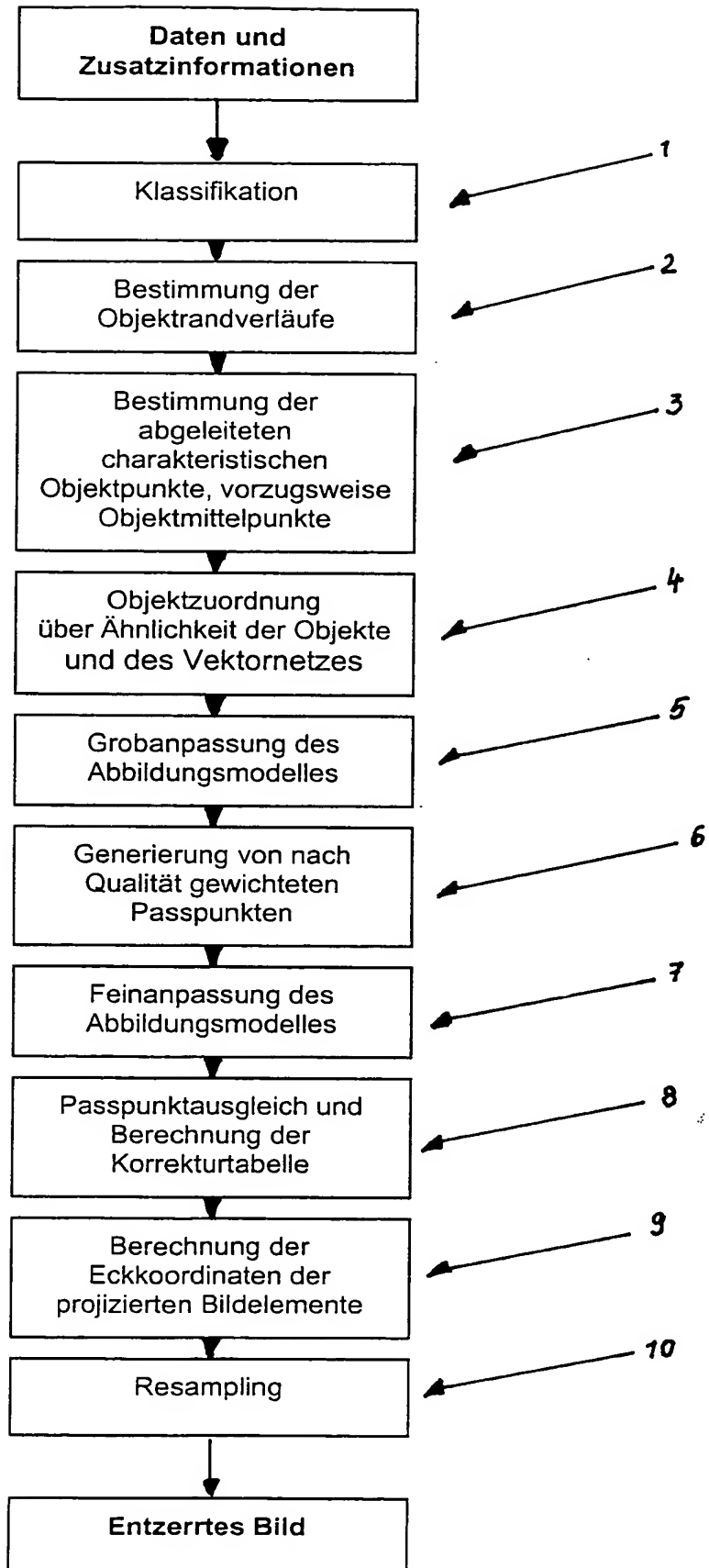


Fig. 1

